1. Classificação *INPE-COM.3/NTE*
C.D.U.: 550.385

2. Período *Junho de 1977*

4. Critério de Distribuição:
interna [ ]
externa [x]

3. Palavras Chaves (selecionadas pelo autor)
Camada E-esporádica, Ionização por partículas, Anomalia Geomagnética Brasileira.

5. Relatório nº
INPE-1061-NTE/096

6. Data *Junho de 1977*

7. Revisado por
L. A. V. Dias
L. A. Vieira Dias

8. Título e Sub-Título
AUMENTOS NA CAMADA E-ESPORÁDICA ASSOCIADOS COM TEMPESTADES MAGNÉTICAS NA ANOMALIA GEOMAGNÉTICA BRASILEIRA

9. Autorizado por
Parada
Nelson de Jesus Parada
Diretor

10. Setor *CEA/GEO* Código *412*

11. Nº de cópias *10*

12. Autoria *M.A. Abdu*
I.S. Batista

14. Nº de páginas *25*

13. Assinatura Responsável

15. Preço
#22,00

16. Sumário/Notas

A camada E-esporádica sobre Cachoeira Paulista (coordenadas geomagnéticas 11°57'S, 22°32'E) sofre aumentos de curta duração (1-3 horas) entre 1 a 3 dias após o início de uma tempestade de intensidade moderada. Durante esses eventos a densidade eletrônica da região E noturna é comparável, ou maior que a ionização máxima durante o dia. Este fato, associado ao espalhamento observado nos traços Es, é interpretado como evidência de ionização da região E, na Anomalia geomagnética Brasileira, causada por precipitação de partículas associada com tempestades magnéticas.

17. Observações *Este trabalho foi parcialmente subvencionado pelo Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT) através do contrato FINEP - 271 CT.*

AUMENTOS NA CAMADA E-ESPORÁDICA ASSOCIADOS COM TEMPESTADES MAGNÉTICAS NA ANOMALIA GEOMAGNÉTICA BRASILEIRA

M.A. Abdu
I.S. Batista

Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq
12200 São José dos Campos, S.P., Brasil

Sumário

O comportamento da camada E-esporádica sobre Cachoeira Paulista (coordenadas geomagnéticas $11^{o}57'S$, $22^{o}32'E$), localizada perto do centro da Anomalia Geomagnética Brasileira, é investigado durante períodos magneticamente perturbados. Ocorrem aumentos significativos nos parâmetros da camada Es, ftEs e fbEs, por um período curto de tempo (2-3 horas) seguindo uma perturbação magnética de intensidade moderada. Os aumentos, entretanto, são defasados de 1 a 3 dias em relação ao início da perturbação. Durante esses eventos a densidade eletrônica da camada Es, deduzida a partir de fbEs, é às vezes uma ordem de magnitude maior que os valores não perturbados. Também, durante alguns eventos noturnos, a densidade eletrônica da região E é comparável aos valores máximos regulares durante o dia. Os traços Es nos ionogramas, durante esses eventos, mostram "range spread", assemelhando-se à camada Es tipo a, que ocorre em latitudes aurorais sob condições perturbadas. Esses resultados são interpretados como evidência de aumen

to de precipitação de partículas carregadas na região E, sobre a Anomalia Geomagnética, seguindo perturbações magnéticas. Os resultados também dão uma evidência de que a resposta da região E, sobre nossa estação é atrasada com respeito à atividade magnética.

Introdução

O comportamento da camada E-esporádica, durante períodos magneticamente perturbados, tem diferentes características em estações localizadas em diferentes latitudes geomagnéticas. Em latitudes aurorais foi observada por Smith (1957) uma correlação positiva entre ocorrência de E-esporádica e atividade magnética, enquanto que, para latitudes médias, a correlação foi negativa (veja Layer, 1972). Em estações localizadas a baixas latitudes geomagnéticas, alguns estudos mostram correlação zero ou um valor positivo muito baixo (Smith, 1957; Bandyopadhyaya e Montes, 1963; Huang, 1965 e Closs, 1969). Neste trabalho nós apresentamos uma investigação preliminar dos efeitos de tempestades magnéticas, na camada E esporádica sobre Cachoeira Paulista (coordenadas geomagnéticas $11^{o}57'S$, $22^{o}32'E$), uma estação de baixa latitude geomagnética, localizada bem próximo ao centro da Anomalia Geomagnética Brasileira. Um estudo recente, pelos autores (Abdu e Batista, 1977), da camada Es sobre Cachoeira Paulista, para alguns meses durante 1973-74, mostrou que, durante esse período, a ocorrência de Es era uma característica regular da ionosfera diurna e noturna sobre essa estação e, também, que Es tipo "blanketing" (com fbEs $\geq$ 2,3 MHz) ocorre à noite sendo a média mensal de fbEs, às vezes, comparável aos seus valores diurnos máximos.

No presente trabalho é feito um estudo de casos específicos do comportamento de Es, durante algumas tempestades magnéticas de intensidade moderada (aqui definidas como tempestades durante as quais o índice planetário Kp eleva-se acima de 4).

Os parâmetros da camada Es, ftEs e fbEs mostraram aumentos bem definidos, de magnitude apreciável, durante todas as tempestades de intensidade moderada que analisamos. Entretanto, esses aumentos não são simultâneos com as variações em Kp, mas ocorrem dentro de 1 a 3 dias depois do início da tempestade.

Apresentação dos Resultados

A Figura 1 mostra um caso de aumento em ftEs e fbEs (reduzidos de 15 em 15 minutos), seguindo uma tempestade que começou com um SC às 0345 LT (tempo local), em 16 de outubro de 1973. O índice magnético Kp indicava perturbação moderada (Kp > 4 na maior parte do tempo), após a tempestade, nos dias 16, 17 e a maior parte do dia 18 de outubro. Ocorreu um aumento pronunciado em Es perto de meia-noite do dia 16 de outubro, quando ftEs e fbEs atingiram 12,5 MHz e 6,5 MHz respectivamente. Simultaneamente a esse aumento, o magnetograma de Vassouras, Rio de Janeiro, mostra a recuperação quase total do campo magnético e a componente H do campo mostra pequenas flutuações, com amplitude de 1-5γ e período de alguns minutos. Como fbEs representa a frequência de plasma aproximada da camada Es (Reddy e Mukunda Rao, 1968). a densidade eletrônica dessa camada, durante o máximo do evento, perto de 00 LT, deve ser aproximadamente $5 \times 10^{5} cm^{-3}$, que é o dobro dos valo

res diurnos regulares (a média mensal diurna de fbEs em outubro de 73 foi 4 MHz, dando uma densidade eletrônica de aproximadamente 2 x 10^5 cm^{-3}). Aquele valor para o pico de densidade eletrônica da camada, não implica que a densidade eletrônica da região E, perto de meia-noite, é também maior que os valores diurnos pois as camadas Es, durante o dia, ocorrem geralmente a 120 Km (a maioria é tipo c), enquanto que a camada Es, nesse evento, correu perto de 100 Km, onde o coeficiente de difusão para os ions é menor, permitindo que a taxa entre a densidade eletrônica na camada Es e a densidade eletrônica ambiente seja maior. Contudo, considerações similares às discutidas por Abdu e Batista (1977) mostram que o valor de fbEs, perto de maia-noite, indica uma densidade eletrônica ambiente, perto de 100 Km, de, pelo menos, 10^5 cm^{-3}. Convém destacar que durante esse evento, e na maioria dos outros a serem descritos, independente de ocorrerem durante o dia ou à noite, a altura da camada Es permanece quase constante, em torno de 100 Km, durante o aumento e diminuição de fbEs.

A Figura 2 mostra o evento da Figura 1 e três outros, cada um deles durante três dias consecutivos, cobrindo desde a perturbação magnética até os aumentos em Es. A figura mostra também os índices Kp para cada evento. O primeiro caso apresenta o comportamento de Es seguindo um SSC que ocorreu perto de 00 LT, em 21 de maio de 1973. Tendo em vista que as médias mensais para ftEs e fbEs, em maio, foram em torno de 5 e 4 MHz respectivamente, o primeiro aumento significativo parece ter corrido no segundo dia de tempestade, 22 de maio de 1973, entre 16 e 1800 LT. Ocorreram outros aumentos pronunciados, em 23 de maio, em torno de 15 LT e às 20 LT, sendo que ftEs e fbEs atingi

ram 13 MHz e 9 MHz, respectivamente, no primeiro evento e 7,8 MHz e 7,5 MHz no segundo. A densidade eletrônica da camada Es, durante o máximo do evento das 15 horas, é aproximadamente 5 vezes o valor máximo diurno nas camadas Es regulares. Houve um aumento similar também à noite. A altura da camada Es permaneceu quase constante a 100 Km, em ambos os eventos. O índice magnético já havia voltado ao normal ($Kp \leq 3$) e os magnetogramas locais (apresentados para os quatro casos na Figura 3) mostram a recuperação quase completa do campo magnético, apenas com pequenas flutuações (mais fracas que no evento de 16-17 outubro) presentes na componente H do campo. Podemos notar que, nos dois eventos analisados, fbEs atingiu o valor máximo em um tempo menor ou igual a 15 minutos, que é o tempo de resolução das observações.

No terceiro caso, apresentado na Figura 2, a tempestade magnética teve início em torno do meio-dia, em 24 de novembro de 73, sem SC, e a perturbação mais forte ocorreu em 25 de novembro. Os primeiros aumentos na camada Es, depois da tempestade, foram observados em torno de 14 LT e 19 LT, no dia 27 (não há dados de Es disponíveis entre 05 horas do dia 25 até 1045 horas do dia 26 de novembro). O campo magnético local já quase se recuperou da perturbação e mostra flutuações de pequena escala na componente H, durante o evento das 14 LT, e flutuações ainda menos pronunciadas às 19 LT (Figura 3). Houve aumentos na camada Es também às 19 LT do dia 28 de novembro, com características similares às do dia anterior. O aumento na densidade eletrônica da região E, para esses eventos, deve ser da mesma ordem de grandeza que o do evento de 16-17 de outubro. Entretanto, nesse caso, o atraso em relação ao início da tempestade é bem maior.

O último caso, apresentado na Figura 2, corresponde a uma tempestade que teve início com um SC perto de 20 LT, em 21 de novembro de 75. O primeiro aumento em Es parece ter ocorrido em torno de meia noite, entre 22 e 23 de novembro, quando ftEs mostrou algum aumento, sem variação significativa na frequência de plasma da camada. Houve aumento mais forte em Es por volta de 14 LT, em 23 de novembro, quando ftEs e fbEs atingiram 10 MHz e 8 MHz respectivamente. Durante os aumentos em Es a perturbação magnética quase já havia desaparecido e, como nos casos anteriores, a componente H do campo mostrava pequenas flutuações. Um exame cuidadoso dos dados de Es em 22 de novembro mostra que quando a atividade magnética era alta a ocorrência de Es foi bastante reduzida, um característica que se assemelha aos casos de correlação negativa entre os dois parâmetro em latitudes médias (Lyser, 1972). No entanto, são necessários mais dados de camada E esporádica e valores simultâneos de Kp (ou, de preferência, valores locais de K), para confirmar a existência de correlação negativa sobre nossa estação.

Os parâmetros da camada Es, que aparecem na Figura 2 para o dia 21 de novembro, antes do SSC, parecem bastante altos quando comparados com a média mensal diurna, que é de 6 MHz e 5 MHz para ftEs e fbEs respectivamente. Houve uma perturbação magnética no dia 17 de novembro com Kp > 4; no entanto a soma de Kp durante aquele dia foi igual a 22, bem mais baixa que a soma diária para os outros dias discutidos antes. Deve-se salientar, ainda, que os aumentos que ocorrem durante o dia são nas camadas Es tipo c, com alturas virtual de 115 - 120 Km, decrescendo gradualmente até 105 Km durante o aumento em torno das

18 horas do dia 21 de novembro (uma exceção a todos os outros eventos para os quais a altura virtual ficou em torno de 100 Km).

A Tabela 1 contem o desvio padrão e o máximo desvio em torno da média, para os quatro casos de aumentos em ftEs e fbEs, mostrados na Figura 2. A associação desses eventos com tempestades magnéticas é confirmada pelo fato que os desvios observados, nos parâmetros de Es, estão muito acima do desvio padrão. Durante a operação da ionossonda em Cachoeira Paulista por alguns meses, em 1973-75, foram observados mais eventos da mesma natureza dos já descritos. A Figura 4 mostra uma "análise de superposição de época", tomando o tempo zero como o tempo em que ocorre aumento nos parâmetros da camada Es, para sete eventos, para os quais havia uma quantidade razoável de dados para quatro dias antes e depois do evento (foram feitas curvas separadas para ftEs e fbEs; entre 10 horas antes e 10 horas depois do início do evento foram marcados os valores a cada 15 minutos e, para o resto do tempo, a média horária). Os valores de Kp estão significativamente mais altos para 3 dias antes do aumento em Es, com a maioria dos pontos superando a média por um valor maior que duas vezes o devio padrão. A média de Kp, mostrada pela linha tracejada na parte inferior da Figura 4, foi tomada de um grupo de 20 dias antes e 20 dias depois do início do evento (a figura mostra, também, a largura no intervalo dentro do qual a média é dada com uma confiança de 98%). Se tomamos médias de Kp para grupos de 3 dias, antes e depois do aumento em Es, vemos que o valor, imediatamente antes do aumento em Es, é o maior no grupo e está superando a média por um valor igual a duas vezes o desvio padrão do grupo. Assim, a probabilidade de que a ocorrência de va

valores altos de Kp por três dias consecutivos, antes do aumento em Es, seja um fenômeno aleatório, é muito pequena.

Discussão

Os aumentos de ionização na região E, durante os eventos analisados, são bastante significantes, principalmente quando se considera os casos que ocorrem ao anoitecer e à meia noite. Por exemplo, levando em consideração ventos, coeficientes de recombinação e coeficientes de difusão para as alturas observadas, a densidade eletrônica ambiente na região E é da ordem de 10^5 cm^{-3}, ou maior, nos eventos das da meia-noite de 16-17 de outubro e das 20 horas de 23 de maio. Estimativas baseadas em outros critérios também levariam a valores similares para a densidade ambiente. Como um exemplo consideremos o evento de 20 horas em 23 de maio, durante o qual fbEs atingiu 7,5 MHz em um tempo menor ou igual a 15 minutos (o tempo de resolução das observações). É improvável que um sistema de ventos que poderia produzir Es do tipo "blanketing" sofra variações em uma escala de tempo dessa ordem (veja Layser, 1972). Além do mais, o fato de que a altura virtual da camada Es (aproximadamente 100 Km) não varia durante o evento, implica que os aumentos, observados em fbEs, resultaram de um correspondente crescimento na fonte de ionização sobre nossa estação, em uma escala de tempo da ordem de 15 minutos ou menos. Se consideramos camadas Es formada por ions metálicos, então é necessário assumir que as condições para a formação de camada Es já estavam sendo satisfeitas antes da ocorrência do evento e que os ions moleculares estão sendo produzidos por uma fonte extra de ionização, tal que um número suficiente deles é convertido a ions metá

licos por um mecanismo de transferência de carga com uma constante de tempo, $\{k([O_2^+] + [NO^+])\}^{-1}$, que não excede 15 minutos (essa constante de tempo corresponde a uma conversão de átomos a ions metálicos pela reação $M + X^+ \rightarrow M^+ + X$, onde $X^+ = O_2^+$ ou NO^+ e ignorando a taxa de produção de átomos metálicos durante esse período). Assumindo, para o coeficiente de transferência de carga, um valor $k = 6 \times 10^{-9}$ cm^3 seg^{-1}, como foi deduzdio por Narcisi (1968),a densidade ambiente dos ions moleculares $[O_2^+] + [NO^+]$ deve ser, pelo menos, da ordem de 2×10^5 cm^{-3} para explicar o tempo observado de aumento dos parâmetros, que é menor de igual a 15 minutos. Se, por outro lado, assumimos camadas Es formadas por ions moleculares, a densidade ambiente, necessária para produzir os valores observados de fbEs, deveria ser ainda mais alta. Na realidade, para tais densidades ambiente muito elevadas, o mecanismo de ventos de cisalhamento, para a formação de camadas Es, poderia não ser muito significante, a menos que os ventos fossem muito fortes. No caso do evento da meia-noite, entre 16-17 de outubro, a fonte de ionização parece ter-se intensificado mais lentamente. Baseados em médias mensais de fbEs, para alguns meses em 1973, os autores mostraram que, durante aquele período, a ionização ambiente noturna da região E deveria ser de 5×10^4 cm^{-3} (Abdu e Batista, 1977). Nossos resultados presentes mostram que a ionização noturna sofre aumentos significativos associados com perturbações magnéticas, um fato que poderia sugerir que a fonte de ionização seja originada por partículas. Geller et al (1975) observaram a existência de correlação positiva entre Kp e variações na ionização da região E noturna, derivadas da análise de perfis tomados por foguetes em camadas intermediárias, e explicaram o fato pela possível presença de precipitação de elétrons energéticos so

bre a região E à noite, em latitudes médias. Abdu et al (1973), em um evento de absorção, com dados de riômetro, notaram evidência de precipitação de partículas na região D, sobre a anomalia gemagnética, seguindo um SC de uma tempestade magnética forte.

O traço Es, no ionograma de 0015 LT, de 17 de outubro (Figura 5) impede quase totalmente a reflexão da camada F e mostra espalhamento significativo, assemelhando-se à camada Es tipo a, que ocorre sobre latitudes aurorais, durante tempestades magnéticas. A maioria dos traços Es noturnos apresenta algum espalhamento mas ocorre intensificação, seguindo a pertubação magnética, em todos os casos que examinamos até agora. No evento diurno das 1345 LT, em 23 de maio de 1973, o espalhamento é relativamente menos pronunciado, provavelmente devido à absorção ionosférica dos traços com fraco espalhamento (a variação do grau de espalhamento com a frequência, vista neste ionograma, é, provavelmente, causada por uma correspondente variação na potência de transmissão do sondador). Uma comparação com o ionograma das 1345 LT em 22 de maio, também mostrado, ilustra o fato que a altura virtual do traço Es, durante efeitos de tempestades significativas, decresceu até 100 Km ou ainda menos. Devido à associação bem conhecida entre atividade magnética, precipitação de partículas e camada Es tipo a em latitudes aurorais (veja por exemplo, Reddy et al., 1969), o aparecimento de traço Es em nossos ionogramas assemelhando-se ao traço Es tipo a, daria suporte à nossa sugestão de uma fonte de ionização originada por partículas. Entretanto, ao contrário das latitudes aurorais, os ventos sobre nossa estação poderiam ser suficientes para produzir camadas Es do tipo "blanketing"; assim os traços "blanketing" em nossos ionogramas, que também

apresentam espalhamento forte, parecem ser um fenômeno interessante, que merece uma investigação mais detalhada.

Sobre a anomalia geomagnética brasileira não há nenhum outro relatório de investigações do comportamento de Es durante perturbações manéticas. A resposta de Es, observada, demora de 1 a 3 dias depois do início da tempestade, variando de um evento para outro. Essa demora na resposta da região E as pertubações magnéticas, ainda é desconhecida e é difícil enquadrá-la em algum tipo de perturbação, já conhecido, da região E. Parece se útil mencionar, aqui, dois aspectos de respostas atrazadas da ionosfera a perturbações magnéticas: (1) "efeito pós-tempestade" (storm-after-effect) na região D, em latitudes médias, é um fenômeno reconhecido (Belrose e Thomas, 1968; Lauter e Taubenheim, 1970; Beynom e Williams, 1974) e tem sido interpretado com sendo causado pela precipitação de elétrons energéticos que sofrem difusão radial para a zona interior de radiação, após sua injeção na zona exterior, na fase inicial de uma tempestade (Spjeldvik e Thorn, 1975) e (2) perburbações, propagando-se em direção ao equador, conduzindo composições termosféricas alteradas, iniciadas pelo aquecimento da região E auroral. Rishbeth (1974) e Davies (1974) consideraram tais perturbações para explicar os efeitos negativos de tempestades na região F, sobre latitudes médias e baixas. Parece improvável que esse último aspectro contribua para os aumentos da camada Es em discussão, porque (a) o atrazo observado, de aproximadamente 3 dias, em alguns casos, é muito longo para a propagação com velocidades iguais às das perturbações consideradas; (b) não podem ser explicados os aumentos rápidos em fbEs, como os observados às 14 LT e 20 LT

em 23 de maio de 1973; (c) aumentos na densidade eletrônica da região E à noite não podem ser explicados por variação na composisão; e (d) o efeito das perturbações, propagando-se na atmosfera neutra na região E, deveria ser observado em outras estações de latitudes baixas e médias. Como nossas observações apresentam casos definidos de aumento de ionização em um espaço curto de tempo, independente do tempo de atraso, é mais provável que tais casos sejam explicáveis em termos de precipitação de partículas na anomalia geomagnética. A demora observada, de 1-3 dias, poderia ser característica dos processos pelos quais as partículas penetram nas conhas com baixos valores de L, que passam através da anomalia geomagnética, após sua injeção na zona exterior, na fase inicial da tempestade. É conveniente notar que, observando-se os tempos de ocorrência da maioria dos eventos, parece haver uma tendência para que eles ocorram mais em torno do anoitecer local do que em torno do amanhecer local.

Conclusões

As conclusões tiradas do presente estudo são as seguintes:

(1) Ocorrem aumentos nos parâmetros Es, ftEs e fbEs, na anomalia geomagnética brasileira, seguindo uma tempestade magnética de intensidade moderada, dentro de 1-3 dias depois do início da tempestade e cada aumento dura, tipicamente, 1-3 horas. Durante esses eventos os magnetogramas locais mostram a quase recuperação do efeito da tempestade e a componente H do campo, geralmente, mostra pequenas flutuações, de período de alguns minutos.

(2) O valor alto de fbEs sugere aumentos significativos na densidade eletrônica ambiente, perto de 100 Km com valores da densidade, à noite, às vezes comparáveis às densidades diurnas regulares da região E.

(3) O padrão e a magnitude dos aumentos noturnos, juntamente com a natureza do traço Es, que é bastante espalhado, assemelhando-se à camada Es tipo a observada em latitudes aurorais, sugerem que a fonte dos aumentos de ionização seja originada por partículas.

Será feito um estudo mais detalhado desses tipo de aumentos em Es, e aspectos relacionados, assim que houver uma quantidade maior de dados.

Bibliografia

Abdu, M.A., S. Ananthakrishnan, E.E. Coutinho, B.A. Krishnan, e E.M.S. Reis, Azimuthal drift and precipitation of electron into the South Atlantic Geomagnetic Anomaly during an SC Magnetic Storm, *J. Geophs. Res.*, 78, 5830, 1973.

Abdu, M.A. e I.S. Batista, Sporadic E-layer phenomena in the Brazilian Geomagnetic Anomaly: Evidence for a regular particle ionization source, *J. Atmos. Terr. Phys.* in press.

Bandyopadhyaya, P. e H. Montes, Some Aspects of E_s Ionization of the Magnetic Equatorial Region, *J. Geophys. Res.*, 68, 2453, 1963.

Belrose, J.S., e L. Thomas, Ionization changes in the middle latitude D-region associated with geomagnetic storms, *J. Atmos. Terr. Phys.*, 30 1397, 1968.

Beynon, W.J.G. e E.R. Williams, Magnetic activity and ionospheric absorption, *J. Atmos. Terr. Phys.*, 36, 649, 1974.

Closs, R.L., Low latitude Sporadic E associated with geomagnetic activity, *J. Atmos. Terr. Phys.*, 31, 873, 1969.

Davies, K., Studies of ionospheric storms using a simple model, *J. Geophy. Res.*, 79, 605, 1974.

Geller, M.A., L.G. Smith e H.D. Voss, Analysis of nighttime E-region winds and ionization production, *Radio Sci.*, 10, 335, 1975.

Huang. Y.N., Geomagnetic activity and occurrence of Sporadic E in the Far East, *J. Geophys. Res.*, 70, 1187, 1965.

Lauter, E.A., e J. Taubenhein, Anomalies of lower ionosphere ionization in medium latitude, *Ann. Geophys.*, 26, fasc. 2, 631, 1970.

Layzer, D., Theory of midlatitude Sporadic E, *Radio Sci.*, 7, 385, 1972

Narcisi, R.S., Process associated with metal-ion layers in the E-region of the ionosphere, *Space. Res. VIII*, North Holland Pub. Comp., 360, 1968.

Reddy, C.A. e M. Mukunda Rao, On the physical significance of the E_s parameters fbEs, and foEs, *J. Geophy. Res.*, 73, 215, 1968.

Reddy, C.A., M. Mukunda Rao e S. Matsushita, Rocket observation of electron densities in the night-time auroral E-region at Fact Churchill, Canada; *Planet. Space. Sci.*, 17, 617, 1969.

Rishbeth, H., Some problems of the F-region, *Radio Sci.*, 9, 183, 1974.

Smith, E.K., World wide occurrence of Sporadic E, *Nat. Bur. Stand. Circ.* 582, 1957.

Spjeldvik, W.N. e R.M. Thorne, The cause of storm after effects in the middle latitude D-region, *J. Atmos. Terr. Phys.*, 37, 777, 1975.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Dr. Nelson de Jesus Parada, Diretor do Instituto de Pesquisas Espaciais, pelo encorajamento durante este trabalho. Agradecemos também ao Dr. B.R. Clemesha pelas sugestões.

TABELA 1

Tabela mostrando as características dos aumentos de alguns eventos discutidos no texto

Dia e hora do evento			Valores máximos durante o evento (MHz)	Média mensal e desvio padrão (MHz)		Desvio máximo durante o evento (MHz)
23 de maio de 1973	14LT	ftEs	13,0	4,36	1,14	8,64
		fbEs	9,0	3,18	1,07	5,82
	20LT	ftEs	6,7	3,80	0,88	2,90
		fbEs	5,0	2,31	0,78	2,69
17 de outubro de 1973	00LT	ftEs	13,0	3,53	1,49	9,47
		fbEs	6,5	2,21	0,98	4,29
27 de novembro de 1973	14LT	ftEs	7,2	4,66	0,46	2,54
		fbEs	6,7	4,05	0,60	2,65
	19LT	ftEs	12,5	3,99	1,54	8,51
		fbEs	6,5	2,59	0,94	3,91

Legenda das Figuras

Fig. 1 - Um caso de aumento em ftEs (o) e fbEs (▲) sobre Cachoeira Paulista, observado em torno de meia-noite entre 16 e 17 de outubro de 1973, (os dados são de 15 em 15 minutos). A parte inferior da figura mostra o magnetograma para Vassouras, Rio de Janeiro, com as variações nas componentes H e Z durante o evento.

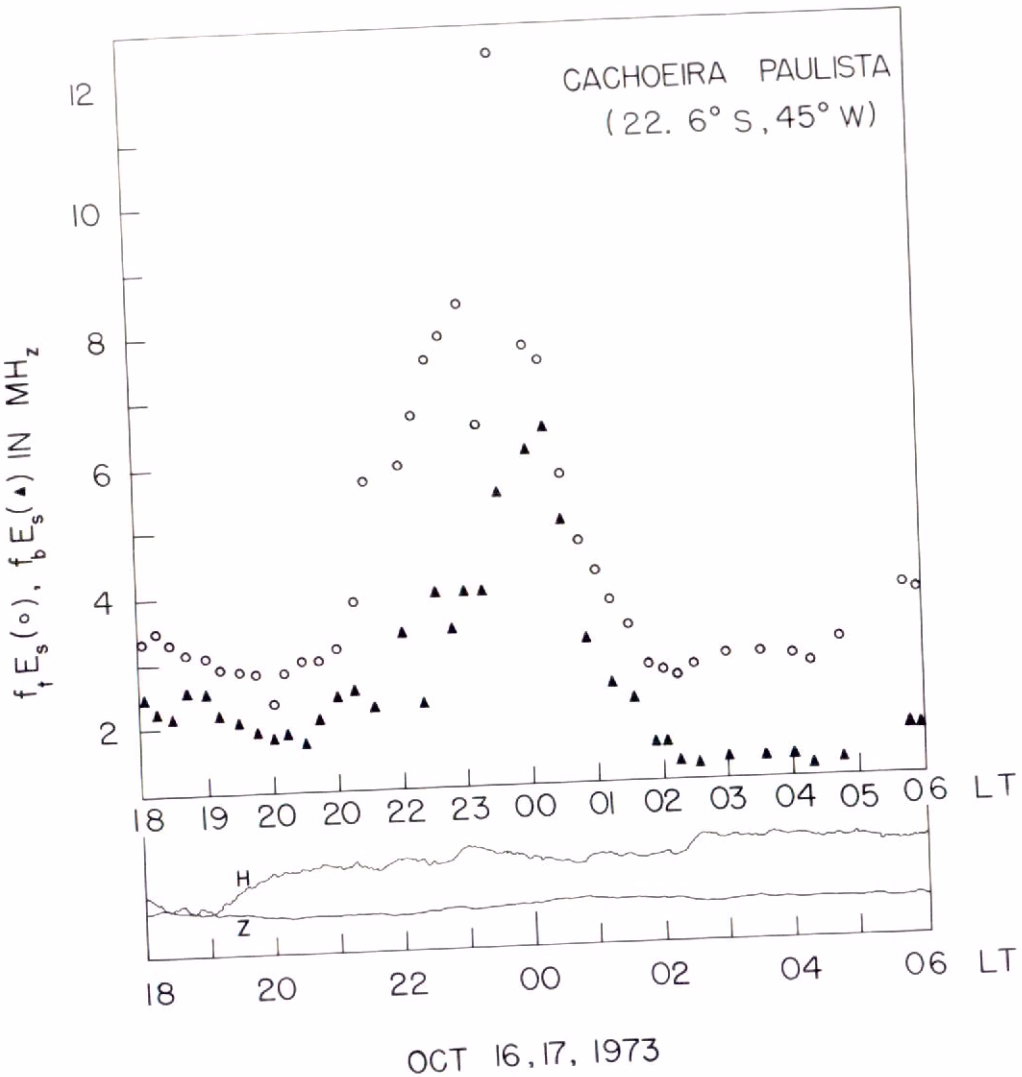
Fig. 2 - Gráficos de ftEs (o) e fbEs (▲), com dados a cada 15 minutos, para três dias consecutivos, correspondendo a quatro eventos de tempestade magnética descritos no texto. O histograma com linha tracejada representa o índice magnético Kp.

Fig. 3 - Magnetogramas de Vassouras, Rio de Janeiro, para dois dias, correspondendo aos quatro eventos mostrados na Fig. 2. Os períodos de aumento em ftEs e fbEs correspondem as linhas tracejadas.

Fig. 4 - Análise de superposição de tempo para 7 eventos mostrando a média de ftEs e fbEs para 4 dias antes e depois do evento, tomando o tempo de máximo em ftEs como o ponto zero. A parte inferior da figura mostra a média de Kp correspondente e o seu desvio padrão. A variação média de Kp para ± 20 dias em torno do ponto tomado como zero é mostrada na última parte da figura.

Fig. 5 - Ionogramas mostrando características dos traços Es durante o efeito de tempestade. (O ionograma de 1345 LT em 22 de maio de 73 é mostrado para comparação com o de 1345 LT em 23 de

maio quando o efeito da tempestade foi mais acentuado.) Pode-se notar o espalhamento no traço Es no ionograma de 17 de outubro de 1973 às 0015 LT.


CACHOEIRA PAULISTA
(22.6° S, 45° W)
$f_t E_s(\circ)$, $f_b E_s(\blacktriangle)$ IN MH_z
12
10
8
6
4
2
18 19 20 20 22 23 00 01 02 03 04 05 06 LT
H
Z
18 20 22 00 02 04 06 LT
OCT 16, 17, 1973

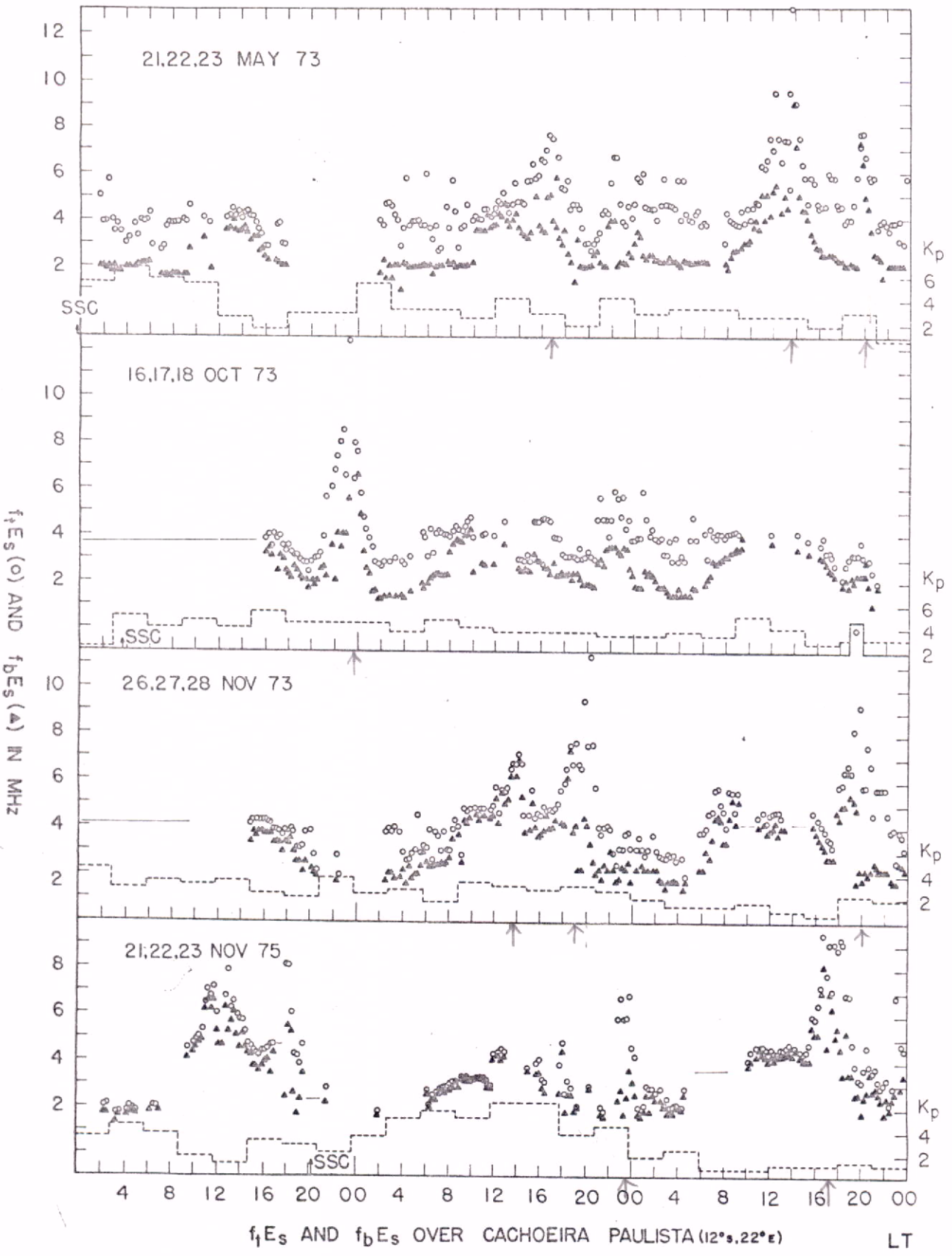
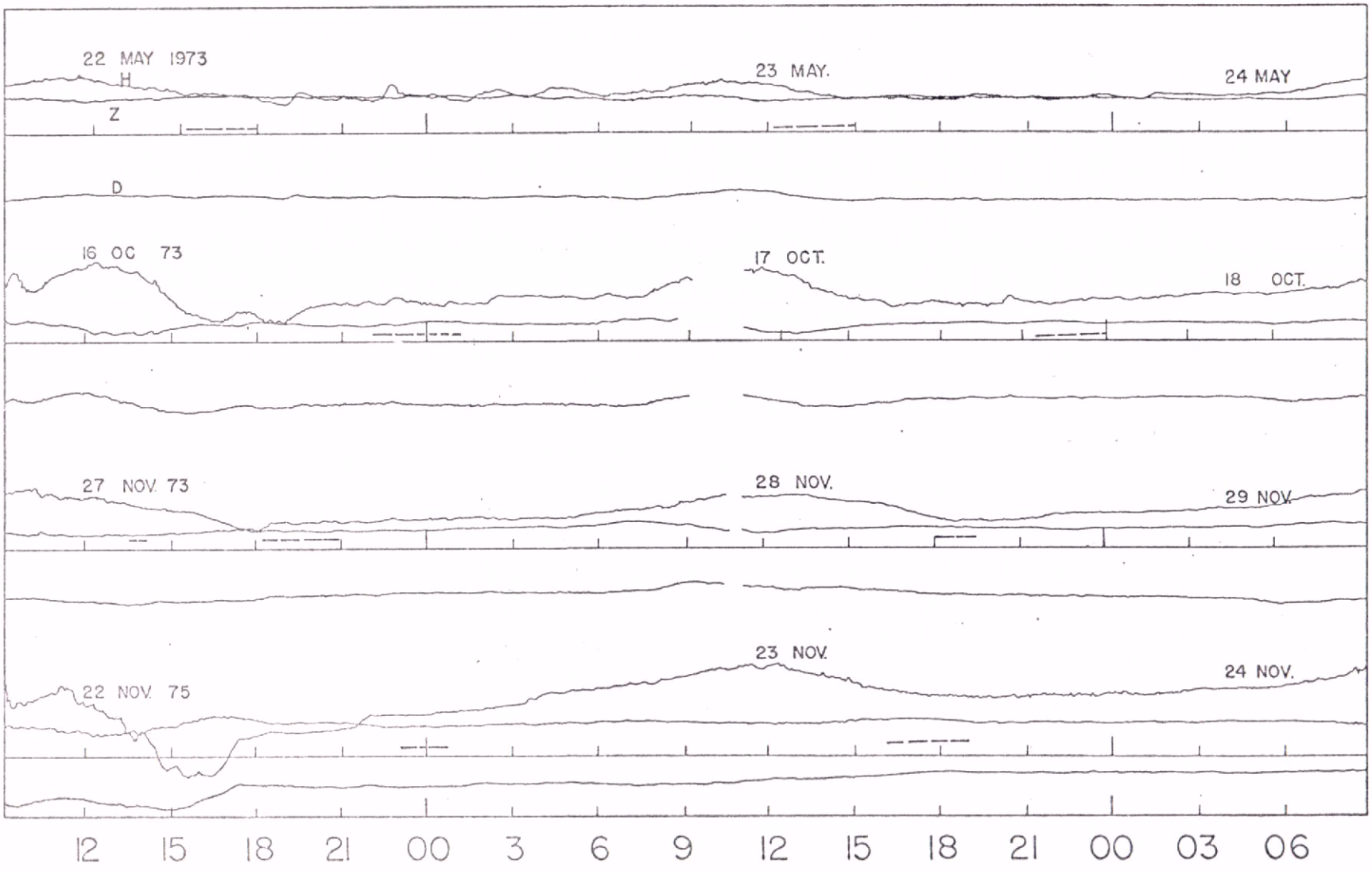

21,22,23 MAY 73
16,17,18 OCT 73
26,27,28 NOV 73
21,22,23 NOV 75
SSC
Kp
$f_t E_s$ (o) AND $f_b E_s$ (▲) IN MHz
4 8 12 16 20 00 4 8 12 16 20 00 4 8 12 16 20 00
$f_t E_s$ AND $f_b E_s$ OVER CACHOEIRA PAULISTA (12°S, 22°E)
LT

Fig. 2



MAGNETOGRAMS FOR VASSOURAS, R. DE JANEIRO

Fig. 3

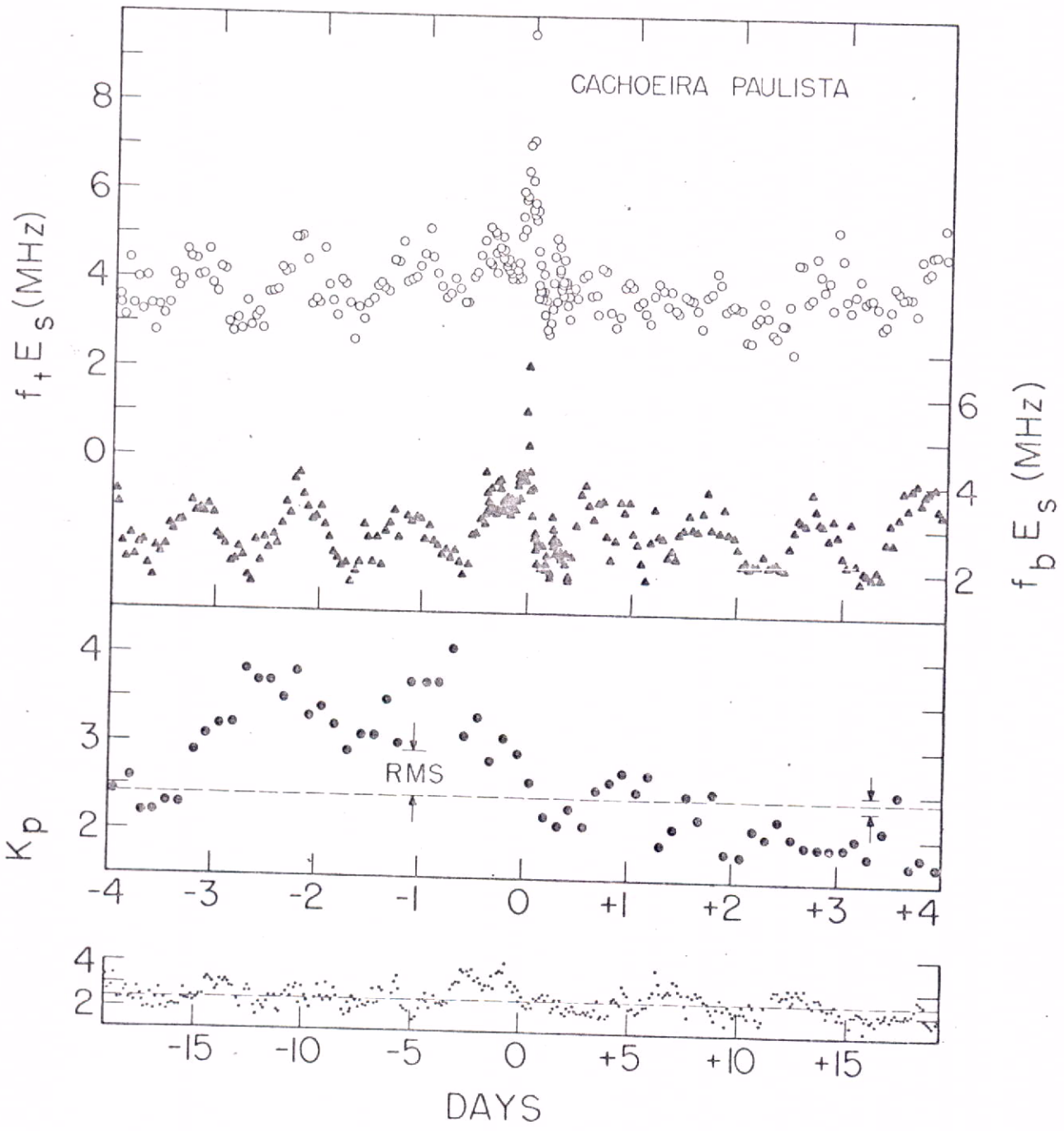
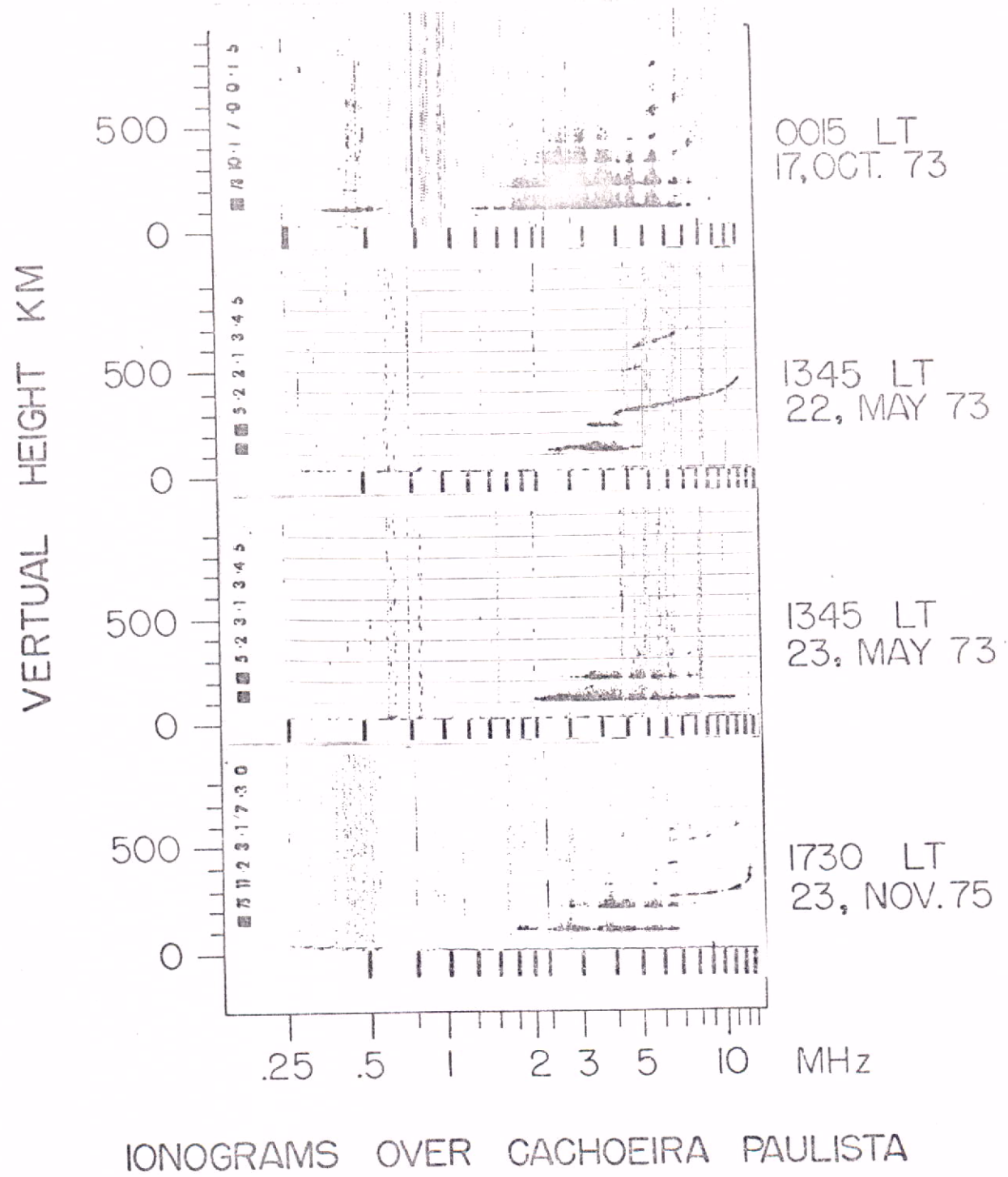

CACHOEIRA PAULISTA
$f_t E_s$ (MHz)
$f_b E_s$ (MHz)
8
6
4
2
0
6
4
2
Kp
4
3
2
RMS
-4
-3
-2
-1
0
+1
+2
+3
+4
4
2
-15
-10
-5
0
+5
+10
+15
DAYS

Fig. 4



IONOGRAMS OVER CACHOEIRA PAULISTA

Fig. 5